

JACEK DRACHAL

**ZWIĘKSZENIE ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU BARWNEGO  
W WYNIKU SYNTEZY Z PANCHROMATYCZNYM OBRAZEM  
CZARNO-BIAŁYM O WYŻSZEJ ROZDZIELCZOŚCI**

*ZARYS TREŚCI.* Obraz półtonowy, zamieniony przy użyciu skanera na formę cyfrową, można poddać analizie komputerowej, oferującej niedostępne dotąd możliwości. Dwie z nich wykorzystano w pracy opisanej w artykule: transformację geometryczną obrazu i transformację współrzędnych barwy elementów obrazu barwnego. Transformacja geometryczna zmienia kształt obrazu, np. trapez zamienia na prostokąt zgodnie z regułą przekształcenia rzutowego. Transformacja współrzędnych barwy daje możliwość zmiany jasności i nasycenia koloru, a także umożliwia płynną zmianę kolorów obiektów widocznych na obrazie. Obie transformacje zostały wykorzystane w pracy polegającej na połączeniu dwu różnych obrazów satelitarnych tego samego obszaru (KFA-1000 i TM oraz SPOT xs i SPOT pan) w jeden, syntetyczny, łączący zalety obu.

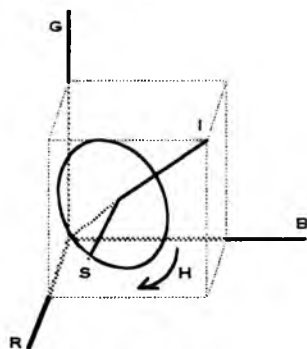
**1. Wprowadzenie**

Współczesna kartografia i pokrewne jej dziedziny, których przedmiotem zainteresowania jest obraz powierzchni Ziemi, wykorzystują zdjęcia satelitarne jako nowe źródło informacji. W średnich skalach od 1:200 000 do 1:50 000, znajdują zastosowanie amerykańskie zdjęcia systemu LANDSAT TM, francuskie SPOT i rosyjskie KOSMOS. System TM wykonuje zdjęcia wielospektralne, złożone z 6 obrazów o rozdzielczości terenowej 30 m i jednego o rozdzielczości 120 m, przy czym każdy jest obrazem danego obszaru w innym zakresie spektrum. Zdjęcie wielospektralne, rejestrowane radiometrem HRV z satelity SPOT, składa się z 3 obrazów o rozdzielczości 20 m. Radiometr HRV może też rejestrować obraz panchromatyczny o rozdzielczości 10 m. System ten rejestruje ponadto obraz panchromatyczny o rozdzielczości 10 m. System KOSMOS rejestruje obraz panchromatyczny na filmie, z którego po skanowaniu można uzyskać obraz cyfrowy o rozdzielczości 5 m.

O wartości zdjęcia jako źródła informacji decyduje zarówno szczegółowość obrazu, jak i wielospektralna charakterystyka uwidocznionych na nim obiektów. Wśród zdjęć wyżej wymienionych panchromatyczne mają większą rozdzielczość od wielospektralnych, co wynika z ograniczeń technicznych - rejestracja części promieniowania wymaga bowiem czulszego detektora.

## 2. Układy współrzędnych barwnych

Obraz barwny w postaci cyfrowej (rozbity na 3 wyciągi i podzielony na elementy powierzchni o skwantowanej jasności) ma swoją reprezentację geometryczną w postaci 3-wymiarowego zbioru elementów w przestrzeni barwnej, zdefiniowanej przez 3-parametrowy układ współrzędnych. W komputerowych technikach przetwarzania obrazu znalazły zastosowanie dwa układy: ortogonalny RGB i ortogonalno-biegunowy IHS. Układ barw addytywnych RGB (czerwony, zielony, niebieski od ang. *Red, Green, Blue*), jest stosowany w skanerach i monitorach obrazowych, natomiast IHS (jasność, kolor, nasycenie od ang. *intensity, hue, saturation*) jest układem roboczym, istotnie zwiększającym możliwości przekształcenia obrazu barwnego, stosowanym zwłaszcza w reklamie. Geometrycznie można przedstawić "przestrzeń barwną" RGB jak na rys.1. W układzie IHS ta sama przestrzeń zamknięta w sześcianie RGB jest określona następująco:



Rys. 1

oś jasności (I) biegnie po przekątnej układu pierwotnego RGB od miejsca (0,0,0) do (255,255,255); wymiar nasycenia (S) jest odległością od osi I, mierzoną w płaszczyźnie do niej prostopadłej; - kolor (H) mierzony jest po okręgu, w płaszczyźnie prostopadłej do osi I w ten sposób, że na skali 0-255 liczbie 85 odpowiada kolor niebieski, liczbie 170 - zielony, a liczbie 255 - czerwony. Przeliczenie współrzędnych między układami RGB i IHS umożliwia wzory transformacyjne.

## 3. Komputerowe techniki przetwarzania

Barwny obraz jest wygodną formą przekazu informacji zawartych w satelitarnym obrazie wielospektralnym użytecznym zarówno na etapie studiów, jak i w prezentacji wyniku opracowania. Barwa jest w tym wypadku istotnym elementem różnicującym i umożliwia łatwe odczytanie informacji z 3 kanałów

informacyjnych jednocześnie, przy czym kanały informacyjne są tu traktowane jak wyciągi obrazu barwnego. Z tego względu zobrazowanie obejmujące więcej kanałów informacyjnych niż 3, takie jak TM Landsat, opłaca się zredukować do trzech - istotnych dla zamierzonej pracy.

Informacja cyfrowa, dana w formie trzech kanałów informacyjnych jako zbiór trójek kodów przyporządkowanych elementom powierzchni obrazu, ma swą interpretację geometryczną w przestrzeni barwnej (rys. 2a) i odpowiadającą jej reprezentację barwną na barwnym obrazie. Można ją analizować jako zbiór pojedynczych informacji, wyrażonych przez trójki kodów, a w interpretacji geometrycznej jako zbiór miejsc w przestrzeni barwnej, określonych trójkami współrzędnych, np. (r,g,b). Pełne wykorzystanie obrazu barwnego jako nośnika informacji polega na możliwości swobodnego i kontrolowanego korzystania z całej przestrzeni barwnej przy zamianie informacji cyfrowych na barwy.

Techniki komputerowego przetwarzania barwnego obrazu polegają na zmianie kształtu i usytuowania figury (bryły) obejmującej zbiór elementów obrazu w przestrzeni barwnej. Geometryczną interpretację tego procesu przedstawiono na rys. 2a. W układzie RGB bryłę tę można przesunąć równolegle (rys.2b) lub rozciągnąć wzdłuż jednej (rys.2c), dwóch (rys.2d) lub trzech osi przez zmianę kontrastu w poszczególnych kanałach. Zmieniając przyporządkowanie kanałów i barw (jest 6 takich możliwości) można natomiast spowodować jej obrót o 120 lub 240 stopni (o 180 stopni - na rys.2e). Każda z takich operacji znajduje swój wyraz w zmianie kolorystyki obrazu. Układ IHS stwarza dodatkowe możliwości zmiany kształtu zbioru. Umożliwia obrót całego zbioru lub jego części o dowolny kąt oraz rozszerzenie całego zbioru lub jego części w granicach sześciangu RGB. W ten sposób można płynnie zmieniać kolory, w zamierzony sposób kolorować obraz lub nadać mu dominującą tonację. Kanał jasności wyznaczony z trzech kanałów RGB jest równoważny obrazowi panchromatycznemu. Stwarza to możliwość zastąpienia tego kanału rzeczywistym obrazem panchromatycznym o wyższej rozdzielczości, co w efekcie powoduje wzrost rozdzielczości całego obrazu barwnego. Zbiór obrazowy zostaje w ten sposób "zagęszczony" w kierunku osi (I) przez nowe poziomy intensywności.



Rys. 2 a,b,c,d

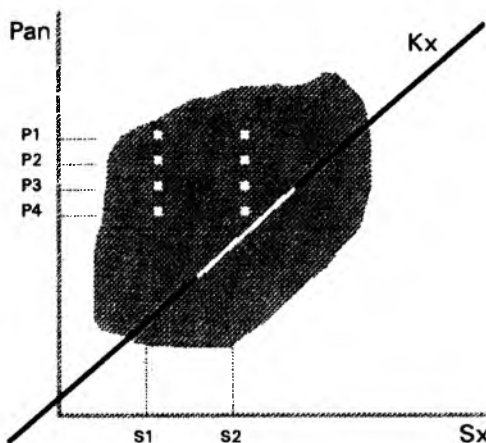


Rys. 2 e,f

#### 4. Synteza obrazów o różnej rozdzielczości

Technikę łączenia dwu obrazów o różnej rozdzielczości w jeden obraz syntetyczny ilustruje rys.3. Operacje, w których zachodzi synteza informacji pochodzących z dwu lub większej liczby kanałów informacyjnych, polegają na transformacji pierwotnych współrzędnych każdego elementu obrazu (jego kodów w poszczególnych kanałach) na nowe współrzędne, typowe dla danej operacji. Do takich operacji należą: redukcja kanałów metodą głównych składowych (ang. *principal components*), sumowanie kanałów, dzielenie kanałów, transformacja IHS.

Rysunek 3 przedstawia prostą sytuację, w której występują dwa kanały informacyjne i 2-wymiarowa przestrzeń informacyjna. W przypadku ogólnym wymiar przestrzeni informacyjnej określa liczba analizowanych kanałów. Na rysunku 3 oś pozioma jest osią kodów w kanale spektralnym  $S_x$  (o niższej rozdzielczości), a oś pionowa  $P_{an}$  osią kodów w kanale panchromatycznym. Możliwe jest graficzne przedstawienie miejsc elementów obrazu na płaszczyźnie, ale z braku trzeciego wymiaru, bez podania liczby elementów zajmujących to miejsce. Wykres taki to histogram dwuwymiarowy. Jak widać na rysunku, każdej wartości piksela obrazu  $S_x$  odpowiadają 4 wartości pikseli obrazu  $P_{an}$ . Nowy kanał informacyjny powstaje (w interpretacji geometrycznej) przez rzutowanie

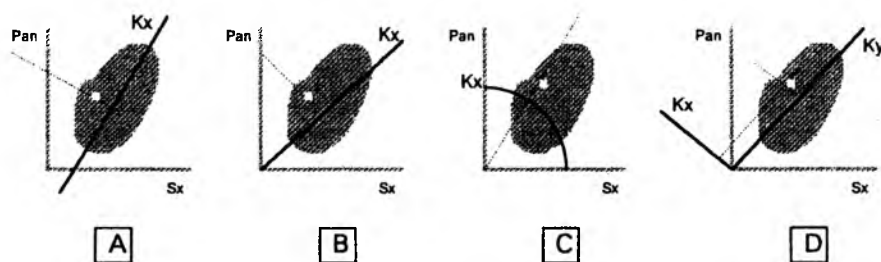


Rys. 3

miejsc pikseli (np. tych, zaznaczonych jasnymi kropkami na rys. 3) na oś tego kanału (jasny odcinek  $Kx$ ). W efekcie, zarówno rozdzielność miejsc zostaje zachowana (wpływ kanału  $Pan$ ), jak i położenie na osi  $Kx$  jest inne dla pikseli  $P1$  i  $P2$  niż na osi  $Pan$  (wpływ  $Sx$ ).

Specyficzną cechą każdej z czterech wymienionych operacji syntezy jest sposób rzutowania pierwotnych współrzędnych na oś nowego kanału informacyjnego. Ilustruje to rys. 4. W przypadku redukcji kanałów oś  $Kx$  jest osią największej wariacji, a rzutowanie równoległe ma kierunek prostopadły do osi  $Kx$  (rys.4a). Przy sumowaniu kanałów oś  $Kx$  jest osią symetrii pierwszej ćwiartki, a rzutowanie równoległe ma również kierunek do tej osi prostopadły (rys.4b).

W operacji dzielenia kanałów oś  $Kx$  jest ćwiartką okręgu o środku w początku układu, będącego też środkiem rzutów dla rzutowania środkowego. Transformacja IHS różni się od poprzednich tym, że jest realizowana jednocześnie na 3 kanałach informacyjnych. Rozważając dla uproszczenia przebieg operacji w przekroju płaszczyzn, do której należy oś intensywności ( $I=Pan$ ), zauważamy, że pierwotne współrzędne wyrażone w układzie IHS ( $I=Pan$ ,  $S=Sx$ ) są przeliczane na nowe dwie współrzędne  $Kx$  i  $Ky$  w wyniku rzutowania równoległego, o kierunku prostopadłym do nowych osi. W rzeczywistości miejsce w przestrzeni informacyjnej wyrażone w układzie IHS jest określane na nowo w układzie  $Kx$ ,  $Ky$  i  $Kz$ .



Rys. 4

## 5. Ograniczenia

W procesie syntezy obrazu barwnego z panchromatycznym nie następuje powiększenie zasobu informacji związanych z kolorem, czyli nie jest możliwe powiększenie zróżnicowania barwnego obiektów ponad to dane na oryginalnym obrazie wielospektralnym. W zakresie kolorów występujących na obrazie oryginalnym synteza spowoduje dodatkowe rozróżnienia jasności (od czarnego, przez półtony koloru, do białego), ale zdolność rozróżniania obiektów, wynikająca z różnic koloru pozostanie ta sama. W tym sensie hipotetyczny, nowy system wielospektralny o podwyższonej rozdzielczości miałby przewagę nad

obrazem syntetycznym. I tak np. małe fragmenty lasu o innym kolorze niż reszta (inny gatunek lub chore), jeśli nie były widoczne na obrazie wielospektralnym z powodu zbyt małej rozdzielczości obrazu, nie będą też widoczne na obrazie syntetycznym, chyba że na obrazie panchromatycznym były np. jaśniejsze, wtedy wyróżnią się na obrazie syntetycznym jaśniejszym tonem (ale nie kolorem).

Podobny problem występuje w procesie interpolacji 3-go stopnia (ang. *cubic convolution*), gdy między istniejącymi kodami elementów obrazu są interpolowane nowe kody, tworzące gęstszy raster. Obraz zyskuje na rozdzielczości, jednak tylko w tych przypadkach (których jest ponad 90%), w których brakujące pośrednie kody w oczkach gęstszego rastra da się przewidzieć na podstawie kodów istniejących, czyli tam, gdzie zmiana tonu (kodu) jest jednostajna. Jeśli natomiast np. przez las biegnie droga i nie ma jej na oryginale, nie powstanie też jej obraz w wyniku interpolacji.

W przypadku obrazu syntetycznego "droga przez las" widoczna na obrazie panchromatycznym zostanie przeniesiona na obraz syntetyczny, wzbogacając obraz wielospektralny o istotny szczegół sytuacyjny, przy czym jej kolor będzie taki, jak kolor lasu (np. jaśniejszy zielony). Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość obrazu syntetycznego jest relacja rozdzielczości obrazów składowych. Nie potrafię sformułować racjonalnego kryterium na graniczną relację rozdzielczości, dla której synteza ma jeszcze sens, ale na podstawie doświadczenia mogę stwierdzić, że przy relacji 1:3 trudno byłoby rozszyfrować pochodzenie obrazu syntetycznego, natomiast przy relacji 1:10 sztuczność obrazu syntetycznego byłaby oczywista, objawiając się zbyt ubogą kolorystyką w stosunku do precyzji rysunku w tle.

## 6. Zastosowania

### *Podniesienie rozdzielczości wielospektralnego zdjęcia miasta Ulan Bator*

Popularnym sposobem interpretacji satelitarnego zdjęcia wielospektralnego jest analiza fotograficznego obrazu barwnego, uzyskanego z naświetlenia wybranych 3 kanałów informacyjnych przez filtry RGB. Materiałem źródłowym dla miasta Ulan Bator były 2 rodzaje zdjęć wykonane z satelity SPOT: panchromatyczne o rozdzielczości terenowej 10 m i wielospektralne o rozdzielczości 20 m. Zdjęcie panchromatyczne przedstawia obraz promieniowania z zakresu 500 - 900 nm, a zdjęcie wielospektralne składa się z 3 obrazów spektralnych o następujących zakresach:

kanal 1.	500 - 590 nm (zielony)
kanal 2.	610 - 690 nm (czerwony)
kanal 3.	790 - 900 nm (podczerwony)

W celu ułatwienia interpretacji materiałów źródłowych utworzono na podstawie wszystkich zdjęć jeden barwny obraz syntetyczny. Zdjęcie wielospektralne poddano transformacji metodą głównych składowych, w celu obniżenia korelacji między kanałami spektralnymi (mniejsza korelacja objawia się większym zróżnicowaniem barw). Uzyskane 3 główne komponenty potraktowano jak wyciągi obrazu barwnego w układzie RGB i utworzono barwną kompozycję (fot.1). Następnie przeliczono współrzędne RGB obrazu barwnego na współrzędne w układzie IHS i zastąpiono składową jasności obrazem panchromatycznym. Uzyskano w ten sposób obraz barwny o rozdzielczości podwyższonej do 10 m (fot.2).

#### *Barwny obraz Warszawy*

Miasto jest obszarem nagromadzenia obiektów prostokątnych o wymiarach rzędu 10 m. Barwne zdjęcia satelitarne o rozdzielczości 20 m i mniejszej (SPOT, TM, MSS) przedstawiają miasto w sposób bardziej artystyczny niż rzeczywisty, rozmazując atrybuty obiektu: geometryczną sieć ulic i ostre granice prostokątnych elementów zabudowy.

W opracowaniach kartograficznych w skali 1:50 000, takich jak aktualizacja mapy topograficznej czy wykonanie mapy podkładowej do planowania przestrzennego jest wymagana rozdzielczość zdjęcia odpowiadająca co najmniej 10 m w terenie. Satelitarne zdjęcie tej rozdzielczości jest jednak czarno-białe (SPOT, KOSMOS), stąd problem pokolorowania go w sposób nieuciążliwy, np. przy użyciu zdjęcia wielospektralnego.

Teoretycznie, rozwiązanie problemu jest podobne, jak przy zwiększaniu rozdzielczości zdjęcia wielospektralnego. Różnica polega na zamierzonej zmianie barw przyporządkowanych obiektom na kompozycji barwnej. Mimo że kanały widzialne zdjęcia wielospektralnego TM (1,2 i 3) są w wysokim stopniu skorelowane, a uzyskana z nich kompozycja jest kolorystycznie uboga, pozostałe trzy kanały podczerwone (4,5 i 7) są dostatecznie zróżnicowane fotooptycznie i zawierają dosyć informacji o fotografowanych obiektach, aby uzyskać 3 nieskorelowane kanały informacyjne, charakterystyczne dla barwnego obrazu.

W zadaniu wykorzystano czarno-białą fotograficzną kopię zdjęcia KOSMOS KFA 1000 (fot.3) i wielospektralne zdjęcie TM (6 kanałów o rozdzielczości 30 m). Zamieniony na postać cyfrową obraz KOSMOS uzyskał terenową rozdzielczość 6.75 m (w skanerze zastosowano rozdzielczość 0.025 mm dla kopii zdjęcia w skali 1:270 000). Obraz TM zredukowano z 6 do 3 kanałów o niskiej korelacji, uzyskując wyciągi RGB barwnego obrazu o rozdzielczości 30 m. Następnym etapem była transformacja geometryczna zdjęcia barwnego do czarno-białego. Relacja rozdzielczości TM do KFA 1000 wynosiła w tym wypadku 4.44:1 (30 m do 6.75 m), co utrudniało wybór punktów dostosowania.

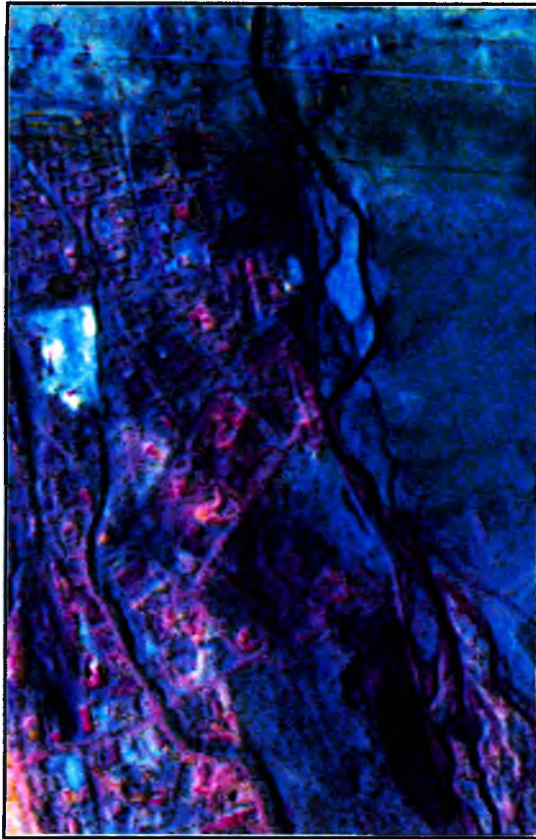
Transformacja opierała się na 33 punktach. Przy zastosowaniu równań 3. stopnia uzyskano błąd średni dla punktów dostosowania 0.8 (piksela KFA), a błąd maksymalny 1.3. Po przejściu do układu IHS zastąpiono kanał jasności obrazem panchromatycznym i opracowano kolorystykę obrazu barwnego. Rezultat przedstawia fotografia nr 4.

### 7. Zakończenie

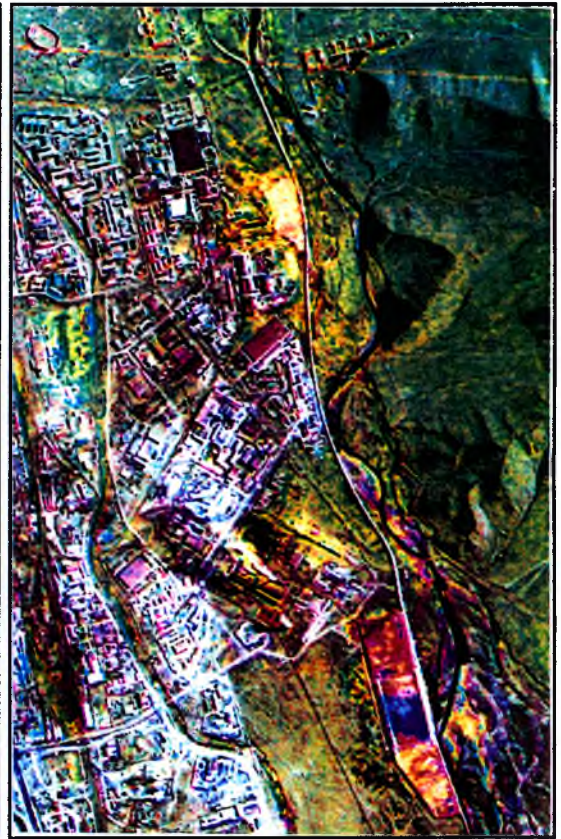
Przedstawiona zasada łączenia informacji obrazowych z różnych zdjęć źródłowych w jednym obrazie syntetycznym jest próbą teoretycznego uzasadnienia operacji, realizowanej przez nowe systemy komputerowe, przeznaczone do przetwarzania obrazów. Efekt operacji widoczny jest "gołym okiem" (fot.1 i 2), ale dopiero świadomość, że informacje z dwu obrazów mogą rzeczywiście "przenikać" do jednego syntetycznego (rys.3) pozwala traktować ten efekt jako źródło informacji o tej samej wiarygodności, co oba obrazy wejściowe. Należy zwrócić uwagę, że operacje zastosowane do przetworzenia obrazów z fot.2 i 4, takie jak transformacja geometryczna, transformacja na główne składowe o największej wariancji i transformacja z układu RGB do IHS, nie są niczym nowym w teorii, natomiast ich realizacja na rzeczywistym obrazie stała się możliwa dopiero dzięki technice komputerowej.

*Recenzował: prof.dr hab.inż. Wojciech Bychawski  
Przyjęto do opublikowania w grudniu 1993 r.*





Fot. 1



Fot. 2



Fot. 3



Fot. 4



*Jacek Drachal*

INCREASE OF RESOLUTION OF COLOUR IMAGE THROUGH MERGING  
WITH PANCHROMATIC IMAGE OF HIGHER RESOLUTION

S u m m a r y

Digital image processing enables increase of resolution of colour image with the use of black-and-white panchromatic image characterized by higher resolution.

In the article principle of merging information delivered by source images and creating synthetic image, which combines good points of both sources, is explained. Geometric matching of component images, which are in different projections and originate from different sources, is indispensable requirement for information synthesis.

Image information converted by scanner into digital form is file of coordinates in three-dimensional RGB coordinate system. It is described as "feature space", i.e. geometric position of points with coordinates obtained during scanning process. Transformations of image are interpreted as movements of "feature space" in RGB system, changes of its shape and projection of points with RGB coordinates into new coordinates axes, being new information channels. The following image transformations useful for information synthesis are discussed in the article: image ratioing, adding, principal component analysis and IHS transformation (intensity, hue, saturation). IHS transformation is the most versatile tool: it enables increase of resolution of colour image without change of colours, but it also allows for changing any colour parameter, including hue.

The described principles of merging information were applied for transforming SPOT XS and SPOT Pan images of Ulan Bator, as well as for TM and KFA-1000 images of Warsaw. It is planned to apply the method for producing satellite image maps at a scale of 1:50 000.

Translation: Zbigniew Bochenek

*Яцек Драхаль*

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В  
РЕЗУЛЬТАТЕ СИНТЕЗА С ПАНХРОМАТИЧЕСКИМ ЧЕРНО-БЕЛЫМ  
ИЗОБРАЖЕНИЕМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Резюме

Компьютерный анализ изображений даёт возможность улучшить разрешение цветного изображения с помощью черно-белого панхроматического изображения того же самого объекта с высшей разрешающей способностью.

В статье объяснён принцип соединения информации, вводимых двумя исходными изображениями, и создания синтезированного изображения, сочетающего достоинства обоих. Необходимым условием синтеза информации является геометрическая сыгранность составляющих изображений, которые могут происходить из разных источников и представлять объект в разных проекциях.

Информация изображения, заменённого в сканере в цифровой вид, является собранием координат в трехмерной системе RGB. Представляется она как "информационное пространство", т.е. геометрическое место точек с координатами, полученными в процессе сканирования. Преобразование изображения интерпретируется как движение "информационного пространства" в системе RGB, изменение его формы, а также проектирование точек с координатами RGB на новые оси координат, являющихся новыми информационными каналами.

В качестве полезных для синтеза информации рассмотрены такие преобразования из области обработки изображений, как: деление изображений на себя, суммирование, трансформирование на основные составляющие с наибольшей вариацией или трансформирование IHS (контрастность, цвет, насыщенность из англ. intensity, hue, saturation). Трансформирование IHS является наиболее всесторонним орудием: даёт возможность улучшить разрешение цветного изображения без изменения цветов, но в тоже время разрешает изменить каждый параметр окраски вместе со цветом.

Указанные принципы соединения информации были применены для преобразования изображения города Улан-Батор, зарегистрированного на снимках СПОТxs и СПОТrap, а также Варшавы, зарегистрированной на снимке КОА-1000 и ТМ. Предусматривается применение метода при обработке карт-изображений в масштабе 1 : 50 000.

Перевод: Róża Tolstikowa